

电力设备无人机智能巡检缺陷识别方法研究

张悦 海发林

宁夏超高压电力工程有限公司，宁夏银川，750000；

摘要：电力设备无人机智能巡检技术，凭借灵活高效的的优势，可对电力设备开展全方位、广覆盖的数据采集，为设备状态监测提供丰富的数据资源。当前，电力设备无人机智能巡检缺陷识别工作，仍面临多维度的现实挑战，核心问题集中在环境干扰强度大、缺陷类型构成复杂、识别结果精度不足三个方面。这些问题相互交织，不仅制约缺陷识别的效率，还会导致识别结果可靠性下降，难以充分满足电网运维对精准管控的需求。本文围绕电力设备无人机智能巡检缺陷识别方法展开系统探讨，依次梳理缺陷识别过程中存在的核心难点、明确当前主流缺陷识别方法的分类及各方法特征、提出推动缺陷识别方法优化提升的具体路径。通过全面梳理难点表现，清晰界定不同识别方法的优势与局限，最终制定针对性优化策略，助力突破缺陷识别瓶颈，提升识别结果的精准度与可靠性，为电力设备精准运维、风险防控提供坚实的方法支撑。

关键词：电力设备；无人机智能巡检；缺陷识别；智能算法；数据支撑；精度优化

DOI：10.69979/3060-8767.26.01.012

引言

电力设备作为电网运行的核心载体，其运行状态直接决定电网的安全稳定性与供电可靠性。设备在长期运行过程中，受环境侵蚀、机械损耗、负荷波动等因素影响，易产生各类缺陷，若缺陷未被及时识别与处置，将逐步扩大并引发设备故障，严重时可能导致停电事故，影响社会生产生活与电网整体运行秩序。然而，电力设备无人机智能巡检缺陷识别工作，并非简单的数据读取与判断，其结果易受外部环境、缺陷自身特性双重因素影响：复杂巡检环境易导致采集数据失真，干扰缺陷特征判断；多样且隐蔽的缺陷类型，也增加了特征区分难度，进而出现缺陷误判、漏判的情况。随着电网运维对“精准化、精细化”的要求持续提升，传统缺陷识别方法已难以适配当前需求，如何优化现有缺陷识别方法，突破环境干扰、缺陷复杂等瓶颈，提升识别精度与可靠性，已成为提升电力设备无人机智能巡检效能的核心课题，对强化电力设备缺陷管控、保障设备安全运行、维护电网稳定具有重要的现实意义。

1 电力设备无人机智能巡检缺陷识别核心难点

1.1 环境干扰显著

电力设备巡检场景多样，涵盖山区、平原、城区等不同区域，且巡检工作需在不同天气条件下开展，外部环境对巡检数据采集与缺陷识别的干扰显著，成为制约

识别效果的重要因素。在数据采集环节，光线强度的动态变化（如正午强光、阴天弱光、早晚逆光），易导致采集的设备图像明暗不均，缺陷特征被掩盖；云雨、雾、沙尘等恶劣天气，会降低图像清晰度，使缺陷细节模糊不清；巡检区域内的树木枝叶、鸟类巢穴、线缆杂物等，还会对设备关键部位形成遮挡，导致缺陷相关数据无法完整采集。这些环境因素均会造成巡检数据失真，无法真实反映设备缺陷状态，进而干扰后续缺陷特征的提取工作，特征提取时难以区分“环境干扰造成的异常”与“设备真实缺陷特征”，大幅增加缺陷识别的难度，甚至直接导致识别失败。

1.2 缺陷类型复杂

电力设备类型多样（如变压器、输电线路、开关柜等），不同类型设备的缺陷表现形式存在显著差异，且同一设备的缺陷也呈现出复杂多样的特征，进一步提升了缺陷识别的难度。从缺陷形态与大小来看，部分缺陷（如设备表面裂纹）可能仅几毫米，特征细微且不明显；部分缺陷（如设备锈蚀）则覆盖范围广，形态不规则；还有部分缺陷（如内部绝缘老化）隐藏于设备内部，无法通过外部图像直接观察，仅能通过间接参数判断，隐蔽性极强。从缺陷特征区分来看，部分缺陷的特征与设备正常结构、正常磨损痕迹高度相似，如设备螺栓轻微松动的特征，与螺栓正常安装后的视觉效果差异极小，难以通过常规识别逻辑精准区分，易将正常状态误判为

缺陷,或遗漏真实存在的轻微缺陷,导致识别结果偏差。

1.3 特征提取不足

缺陷特征提取是缺陷识别的核心技术环节,其质量直接决定识别结果的精度,只有精准提取缺陷的核心特征,才能通过后续分析判断设备是否存在缺陷、存在何种缺陷。当前,部分缺陷识别方法在特征提取环节存在明显不足,成为导致识别误判、漏判的关键技术短板。部分识别方法的特征提取逻辑较为单一,仅能提取缺陷的表面特征(如颜色、形状),无法深入挖掘缺陷的深层特征(如纹理、灰度变化规律),而深层特征往往是区分相似缺陷、识别隐蔽缺陷的关键,表面特征的单一性易导致特征信息缺失,无法全面反映缺陷属性;还有部分识别方法的特征提取缺乏针对性,对不同类型、不同场景下的缺陷,采用统一的提取策略,未考虑缺陷特征的差异性,导致无法精准捕捉各类缺陷的核心特征,反而纳入大量无关特征(如环境干扰产生的杂色、杂纹),进一步干扰后续判断,最终导致识别结果可靠性下降,出现误判、漏判问题。

2 电力设备无人机智能巡检主流缺陷识别方法分类

2.1 传统图像识别方法

传统图像识别方法是电力设备无人机智能巡检缺陷识别的早期主流方法,其核心技术逻辑基于经典图像处理技术,通过标准化的流程完成缺陷识别,技术成熟度较高,应用场景较为广泛。该方法的核心流程可分为两步:第一步,对无人机采集的设备图像进行预处理(如去噪、增强),减少环境干扰对图像质量的影响;第二步,通过边缘检测、阈值分割、特征匹配等经典图像处理算法,提取图像中设备的关键特征(如形状、颜色、尺寸),并将提取的特征与预设的“缺陷特征模板”进行比对,若提取特征与模板特征匹配度达到预设标准,则判定设备存在对应类型缺陷,反之则判定无缺陷。从方法特性来看,其优势在于技术原理简单易懂,无需复杂的模型训练过程,对硬件设备的算力要求较低,适配各类基础巡检场景,且可快速完成识别;局限则在于抗环境干扰能力较弱,当图像受光线、遮挡影响出现失真时,特征提取精度会大幅下降,进而导致识别偏差,同时难以处理特征复杂、隐蔽性强的缺陷,适配性存在明显局限。

2.2 智能算法识别方法

随着人工智能技术发展,智能算法识别方法逐步成为当前电力设备无人机智能巡检缺陷识别的核心方法,其核心技术逻辑依托机器学习、深度学习等智能算法构建识别模型,通过数据训练提升模型识别能力,适配复杂缺陷场景的能力更强。该方法的核心流程可分为三步:第一步,构建涵盖多类型、多场景缺陷的数据集,作为模型训练的基础;第二步,将数据集输入智能算法(如卷积神经网络、循环神经网络),通过算法迭代训练,让模型自主学习不同缺陷的特征规律,形成可精准识别缺陷的智能模型;第三步,将无人机采集的实时巡检图像输入训练完成的模型,模型可自动完成缺陷特征提取、特征分析与缺陷判断,输出识别结果(如缺陷类型、缺陷位置、缺陷等级)。从方法特性来看,其优势在于抗环境干扰能力较强,模型可通过训练学习“环境干扰特征”与“缺陷特征”的差异,减少干扰对识别的影响;同时,对复杂形态、隐蔽性强的缺陷,模型可挖掘深层特征,识别能力显著优于传统方法;局限则在于高度依赖高质量、大规模的缺陷数据集支撑,且模型训练与优化需消耗较多的算力与时间成本。

2.3 多数据融合识别方法

多数据融合识别方法是基于前两类方法的优化升级路径,其核心技术逻辑打破“单一图像数据识别”的局限,通过融合多源巡检数据,实现对缺陷的综合判断,可进一步提升识别精度与可靠性。该方法的核心流程可分为三步:第一步,整合无人机采集的多源数据,包括设备图像数据、视频数据,以及无人机搭载的传感器采集的设备运行参数数据(如温度、电压、电流)、环境参数数据(如湿度、风速);第二步,通过数据融合技术(如特征级融合、决策级融合),对多源数据进行整合与关联分析,如将“设备表面温度异常”的传感器数据,与“设备图像中对应部位颜色变化”的图像数据结合,综合判断是否存在“设备过热缺陷”;第三步,基于多源数据的融合分析结果,输出最终的缺陷识别结论,避免单一数据信息不足导致的识别偏差。从方法特性来看,其优势在于可补充单一数据的信息短板,通过多数据相互印证、相互补充,提升缺陷特征判断的全面性,进而显著提升识别精度,尤其适用于隐蔽性强、需多维度判断的缺陷;局限则在于多源数据的格式、维度差异较大,数据整合过程复杂,需攻克数据标准化、数据同

步性等技术难题，同时多数据融合分析对算力要求较高，整体技术实现难度与成本均高于前两类方法。

3 电力设备无人机智能巡检缺陷识别方法优化提升路径

3.1 强化环境抗干扰能力

强化环境抗干扰能力，核心在于通过技术升级，减少巡检环境中光线变化、云雨、遮挡等因素对数据采集与缺陷识别的影响，提升各类识别方法对复杂巡检环境的适配性，确保数据质量与识别精度。优化过程中，需从“数据预处理”与“识别逻辑适配”两方面发力：一方面，引入环境自适应数据预处理技术，针对不同环境干扰类型，制定差异化的预处理策略，如针对光线变化，采用自适应光线调节算法，修正图像明暗不均问题；针对云雨、雾导致的图像模糊，采用图像去雾、去雨算法，提升图像清晰度；针对杂物遮挡，采用图像修复算法，补充被遮挡部位的关键信息，减少数据失真。另一方面，在识别方法的逻辑设计中，增加“环境干扰特征过滤”模块，通过算法训练，让识别模型或识别逻辑自主区分“环境干扰特征”与“设备缺陷特征”，在特征提取阶段主动过滤无关的环境干扰特征，避免干扰因素影响后续判断，从识别逻辑层面提升抗干扰能力。

3.2 优化缺陷特征提取

优化缺陷特征提取，核心在于针对不同缺陷类型的特征差异，改进特征提取逻辑与策略，实现对缺陷核心特征的精准捕捉，同时减少无关特征干扰，从技术核心环节降低缺陷误判、漏判率。优化过程中，需聚焦“针对性”与“深度性”两个核心目标：一方面，建立“缺陷类型-特征提取策略”的对应关系，针对不同类型缺陷，设计差异化的特征提取逻辑，如针对“设备裂纹”这类细微缺陷，重点优化纹理特征、边缘特征的提取算法，提升细微特征的捕捉能力；针对“设备内部绝缘老化”这类隐蔽缺陷，重点提取传感器参数数据中的深层特征（如参数波动规律），而非仅依赖图像表面特征，确保特征提取的针对性。另一方面，突破“单一表面特征提取”的局限，引入深层特征提取技术，通过算法挖掘缺陷的灰度变化规律、局部纹理特征、多参数关联特征等深层信息，构建“表面特征+深层特征”的多维度特征体系，全面反映缺陷属性；同时，增加“无关特征过滤”步骤，通过特征筛选算法，剔除环境干扰、设备正常磨损产生的无关特征，确保提取的特征均为缺陷核

心特征，提升后续识别判断的精准度。

3.3 完善数据支撑体系

完善数据支撑体系，核心在于构建高质量、全覆盖的缺陷数据集，为智能算法识别方法的模型训练、传统方法的特征模板优化、多数据融合方法的多源数据整合提供充足且可靠的数据基础，从数据源头保障缺陷识别方法的优化效果。优化过程中，需从“数据采集”与“数据管理”两方面推进：一方面，扩大缺陷数据采集的覆盖范围，确保数据集的全面性，采集数据需涵盖不同类型电力设备的缺陷（如变压器缺陷、输电线路缺陷）、不同形态与等级的缺陷（如轻微裂纹、严重锈蚀）、不同巡检环境下的缺陷（如晴天、雨天、山区、城区），同时同步采集对应的多源数据（图像、视频、传感器参数），避免数据类型单一、场景覆盖不全的问题。另一方面，建立缺陷数据质量管控与更新机制，确保数据集的高质量——对采集的原始数据，通过数据清洗、数据校验等技术，剔除无效数据、错误数据，修正数据偏差；同时，定期更新数据集，纳入新增的缺陷类型、新增的巡检场景数据，确保数据集能够适配电力设备缺陷变化与巡检场景拓展的需求，为各类识别方法的持续优化提供稳定、可靠的数据支撑。

4 结语

电力设备无人机智能巡检缺陷识别方法的优化提升，是突破当前巡检效能瓶颈、保障电力设备安全运行的核心所在，其优化效果直接决定电网运维的精准度与可靠性。通过梳理环境干扰显著、缺陷类型复杂、特征提取不足等核心难点，可明确优化工作的靶向目标。三者协同发力，可推动电力设备无人机智能巡检缺陷识别方法向“高精准、强适配、广覆盖”方向升级，为电力设备缺陷的精准管控提供可靠的方法支撑，有效减少设备故障风险，保障电网安全稳定运行，助力电网运维向智能化、精细化高质量发展转型。

参考文献

- [1] 张文彬. 输电架空线路的无人机巡检技术应用[J]. 集成电路应用. 2021, 第 004 期
- [2] 夏中晨, 胡如意. 输电线路无人机巡检技术应用与研究[J]. 今日自动化. 2020, 第 012 期
- [3] 王焕, 陈杰. 无人机巡检技术在架空输电线路巡检中的实践应用[J]. 科技风. 2020, 第 035 期